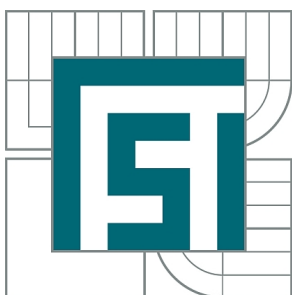


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ŽIVOTNOST NOVÉ KONTAKTNÍ ŠPIČKY

STORAGE LIFE OF NEW TORCH TIP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN JISKRA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Milan Jiskra

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Životnost nové kontaktní špičky

v anglickém jazyce:

Storage life of new torch tip

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kontaktní špička napájí svařovací drát elektrickým proudem při svařování MIG/MAG. Špička má výrazný vliv na kvalitu svarů a je snaha zvýšit její životnost.

Cíle bakalářské práce:

Popsat problematiku svařování MIG/MAG ve vztahu k vlivům na proces svařování Provést rozbor vlivů na životnost špičky. Stanovit materiály a konstrukční varianty špiček. Stanovit životnost nové špičky firmy ESAB.

Seznam odborné literatury:

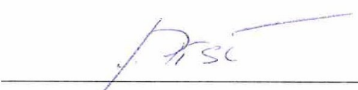
1. DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
3. BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
7. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.


V Brně, dne 18.11.2010 14:20

L.S.



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Svařování v ochranné atmosféře MIG/MAG je nejpoužívanější a nejrozšířenější metoda svařování. Použití této metody je velmi rozsáhlé. Její jediné omezení je pouze ve venkovním prostředí při práci v terénu, kdy při působení vnějších vlivů (větru) dochází k porušení ochranné obálky plynu. Tato ochranná obálka brání přístupu vzduchu ke svarové lázni a při jejím porušení hrozí vznik nekvalitního svarového spoje se spoustou pórů. Důležitou součástí svařovacího zařízení je kontaktní špička, která napájí svařovací drát elektrickým proudem. Kontaktních špiček existuje celá řada, od nejlevnějších až po ty dražší. Požadavkem je zvýšit životnost špiček na maximum, aby se minimalizovaly časy jejich výměn. O zvýšení životnosti se pokusila i australská firma se špičkou MIGfast použitím keramického izolátoru. U této špičky výrobce deklaroval až pětkrát delší životnost oproti konvenčním špičkám. Námi provedené zkoušky ovšem ukázaly velmi negativní výsledek v porovnání s běžně používanými konvenčními špičkami.

Klíčová slova

Svařování, kontaktní špička, MIGfast, zkoušky opotřebení.

ABSTRACT

Welding in a MIG/MAG protection atmosphere is the the most used and most widespread method for welding. This method is very extensively used. Its only limitation is in an outdoor environment while working in the field, when the effects of external influences (wind) can breach the gas containment. The containment prevents the access of air to the weld pool and a breach can lead to the formation of a poor quality welded joint with a lot of pores. An important part of the welding device is the contact tip, which energizes the welding wire by electric current. There are many types of contact tips from the cheapest to more expensive ones. The requirement is to increase the lifetime of tips to the maximum in order to minimize replacement times. An Australian company making MIGfast tips has tried to increase the lifetime by using a ceramic insulator. This tip producer claimed as much as five times longer lifetime than conventional tips. Tests carried out by us, however, showed a very negative result in comparison with commonly used conventional tips.

Key words

Welding, contact tip, MIGfast, abrasive wearing tests.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JISKRA, Milan. *Životnost nové kontaktní špičky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma životnost nové kontaktní špičky vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 20.05.2011

.....

Milan Jiskra

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji všem pracovníkům firmy ESAB Vamberk, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.

OBSAH

Abstrakt

Prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod	11
1 SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH	12
1.1 Svařování MIG/MAG	12
1.1.1 Svařovací zdroj	13
1.1.2 Podavač drátu	14
1.1.3 Svařovací hořák	15
1.1.4 Ochranné plyny	16
1.1.5 Přídavné materiály pro svařování MIG/MAG	17
1.1.6 Přenos kovu v oblouku	19
2 KONTAKTNÍ ŠPIČKY	20
2.1 Funkce kontaktní špičky	21
2.2 Materiály kontaktních špiček a jejich povrchová úprava	21
2.3 Kontaktní špička Contec	23
2.4 Kontaktní špička MIGfast	25
2.5 Opotřebení kontaktních špiček	27
2.5.1 Vlivy na opotřebení kontaktních špiček	27
2.5.2 Důsledky opotřebení kontaktní špičky	30
3 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ KONTAKTNÍCH ŠPIČEK	31
3.1 Návrh zkoušek	31
3.2 Průběh zkoušek	33
3.3 Výsledky zkoušek	34
3.4 Chování špiček v průběhu svařování	39
Závěr	41
Seznam použitých zdrojů	43
Seznam použitých zkratk a symbolů	45
Seznam obrázků	46
Seznam tabulek	47

ÚVOD

Svařování v ochraně plynů patří v celosvětovém měřítku mezi nejrozšířenější metody svařování. Důvodem je vysoká produktivita při relativně nízkých pořizovacích nákladech, dále možnost automatizace a robotizace. Široké technické veřejnosti je tato metoda známá pod označením MIG/MAG.

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku svařování MIG/MAG. V první části budou rozebrány parametry, které mají vliv na vlastní proces svařování. Jedna z důležitých součástí svařovacího zařízení (pistole), která výrazně ovlivňuje svařovací proces, je kontaktní svařovací špička. Důležitým faktorem je životnost této špičky, která má velký význam především u průmyslových svařovacích robotů. Zde je každá doba, po kterou je robot v nečinnosti ekonomicky ztrátová. Snahou je, aby těchto časů potřebných na výměnu svařovací špičky bylo co nejméně. Výrobci proto na svařovací špičky aplikují nejrůznější materiály a technologie, které by tento problém řešily. V další části budou rozebrány konstrukční a materiálové varianty kontaktních špiček, které jsou v současnosti používány. V experimentální části bude provedeno praktické testování svařovací špičky MIGfast vyvinuté firmou v Austrálii. Zkoušky budou probíhat na specializovaném pracovišti v prostorách firmy Esab ve Vamberku. V závěru bude zhodnocení této svařovací špičky, srovnání s běžně používanými špičkami a bude uvedeno resumé, zda je špička MIGfast uplatnitelná na trhu.

1 SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH [4]

Svařování v ochranných atmosférách tavící se elektrodou je definováno jako svařovací proces, při kterém dochází ke vzájemnému spojení materiálů za působení tepla elektrického oblouku, který hoří mezi přídavným materiálem (tavící se elektrodou) a základním materiálem. Ochrana svařovacího oblouku je zajištěna směsí plynů či směsí plynů s tavidlem.

Do této skupiny patří dle evropského značení tyto metody svařování:

- **MIG** Metal Inert Gas – obloukové svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu
- **MAG** Metal Activ Gas – obloukové svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu
- **TIG** Tungsten Inert Gas (**WIG** Wolfram Inert Gas) – obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu

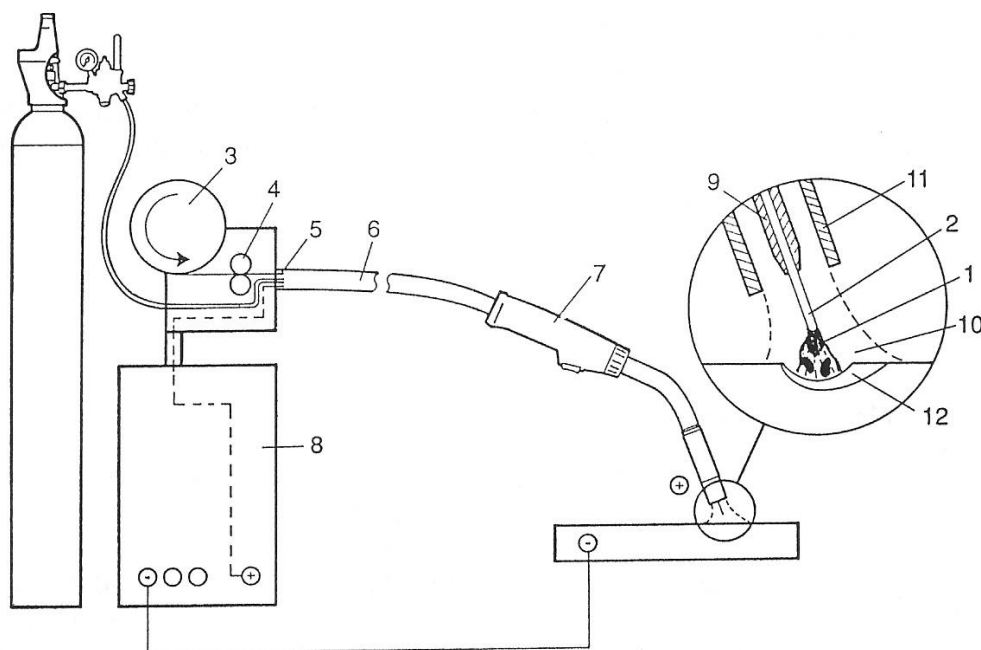
1.1 Svařování MIG/MAG [1], [4], [6]

Jedná se o tavné obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního nebo aktivního plynu. Princip metody vyplývá z obrázku 1.1. Kovová elektroda ve formě drátu (2) je plynule podávána do svařovacího hořáku (7). Proud se přivádí do elektrody **kontaktní špičkou** (9) našroubovanou do hořáku, která je spojena s kladným pólem proudu zdroje. Nekonečná elektroda ve formě drátu se posouvá do místa svaru konstantní rychlostí mechanizovaným podávacím zařízením (4). Mezi elektrodou a základním materiálem hoří oblouk (1), ve kterém se elektroda taví a kov se přenáší do svarové lázně (12). Ochranný plyn (10) se přivádí do místa svaru plynovou hubicí (11), vytváří soustřednou plynovou obálku oblouku, která chrání svarovou lázeň před nežádoucími účinky okolní atmosféry.

MIG/ MAG je metoda, která se hojně používá ve všech průmyslových odvětvích, od hromadné výroby nejrůznějších součástí až po svařování rozměrných svarků. Rovněž se používá při svařování různých tloušťek materiálů ve všech polohách. Dosahuje vysoké produktivity a je velmi vhodná k automatizaci a robotizaci svářečských prací. Základní rozdělení metody na poloautomatické (ruční) a mechanizované, umožňuje vyjádřit míru mechanizace vlastního procesu svařování.

Hlavní důvody rozšíření metody MIG/MAG jsou:

- vysoká produktivita a hospodárnost provádění spojů,
- dobrá operativnost i při svařování v polohách,
- velký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů,
- možnost mechanizace a robotizace,
- velký výběr vyráběných svařovacích zařízení,
- nízké investiční náklady na realizaci metody v klasickém provedení.



Obrázek 1.1 Základní schéma svařování metodou MIG/MAG [1]

1 – elektrický oblouk, 2 – drátová elektroda, 3 – zásobník drátu, 4 – podávací kladky, 5 – rychloupínací spojka, 6 – hořákový kabel, 7 – svařovací hořák, 8 – zdroj svařovacího proudu, 9 – kontaktní svařovací průvlek, 10 – ochranný plyn, 11 – plynová tryska, 12 – svarová lázeň.

1.1.1 Svařovací zdroj [6]

a) Jednofázové nebo třífázové usměrňovače s plochou statickou charakteristikou

Jsou vhodné pro opravárenské a zámečnické práce. Jednoduchá regulace napětí, nastavení posuvu drátu a průběhu svařování (plynulé, bodové, intervalové) se provádí pomocí ovládacích prvků. Dalším možným ovládacím prvkem může být přepínač **dvoutaktu** (stisk spínače na hořáku zahájí svařování a následné uvolnění spínače proces zastaví) a **čtyřtaktu** (první stisk spínače zahájí svařování, druhý stisk proces ukončí). Dražší verze usměrňovačů mohou být navíc doplněny o digitální ampérmetr a voltmetr, předfuk, dofuk apod.

b) Středofrekvenční tyristorové nebo vysokofrekvenční tranzistorové střídače – invertory

Jsou podstatně menší a lehčí než klasické usměrňovače a navíc umožňují pulzní svařování. Špičkové invertory řízené mikroprocesorem patří do skupiny tzv. **synergických zdrojů**. Mikroprocesor po zadání průměru drátu, druhu plynu, typu svařovaného materiálu a jednoho parametru (např.

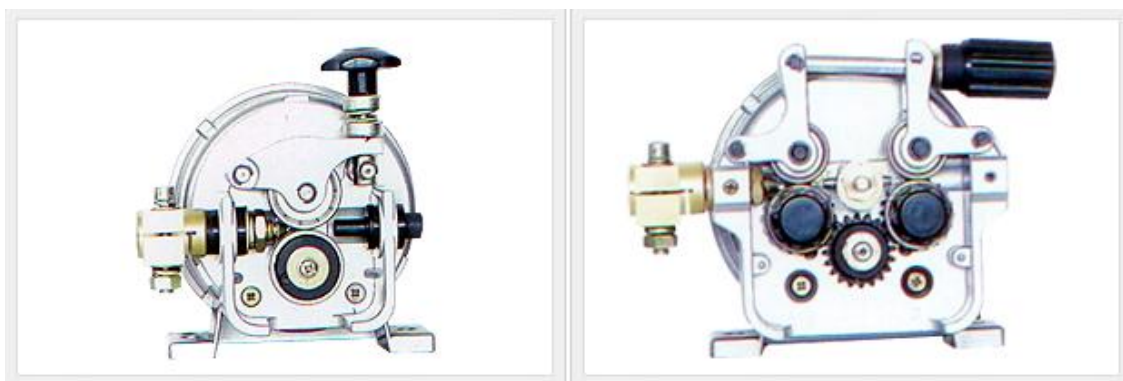
hodnoty proudu, tloušťky svařovaného materiálu nebo velikosti koutového svaru) automaticky nastaví zbývající svařovací parametry. Na tomto zdroji je možno nastavit a následně uložit omezené množství svařovacích programů. Další výhodou těchto zdrojů je možnost propojení s počítačem, kdy nám počítač umožní automaticky zaznamenávat svařovací parametry pro technickou dokumentaci. Z obrázku 1.2 je patrný rozdíl mezi ovládáním usměřovače a invertoru.



Obrázek 1.2 Svařovací zdroj (vlevo - usměřovač, vpravo - invertor) [9]

1.1.2 Podavač drátu [6]

Podavače drátu mohou být buď pevně integrované do zdroje, nebo mohou být snímatelné. Důležitým rozhodovacím faktorem volby podavače drátu či samostatného svařovacího zdroje je počet kladek, které podávají svařovací drát. Svařovací zdroje mohou být vybaveny buď **dvoukladkovým** nebo **čtyřkladkovým** podavačem. Dvoukladkové podavače nejsou vhodné pro měkké dráty (např. Al) a plněné elektrody. Zvýšením počtu kladek je zajištěno optimální dodávání drátu během procesu svařování. Speciálním případem je metoda podávání drátu „**Push-Pull**“, kdy kladky v podavači drát tlačí a kladky, které jsou součástí svařovacího hořáku, drát táhnou. Touto metodou lze drát podávat až na vzdálenost 10m. Drát je dodáván ze zásobníku, který je součástí podavače. Při změně průměru drátu je nutné kladky vyměnit či kladku otočit. Často bývají na jedné kladce drážky pro dva průměry drátu. Na obrázku 1.3 je vyobrazen dvoukladkový a čtyřkladkový podavač.



Obrázek 1.3 Podavače drátu (vlevo - dvoukladkový, vpravo - čtyřkladkový) [12]

1.1.3 Svařovací hořák [3], [6]

Svařovací hořáky zabezpečují při svařování: přívod svařovacího proudu na tavící se elektrodu (drát) přes **kontaktní špičku**, dodávku ochranného plynu do místa svaru přes dýzu – hubici, dodávku drátu do místa oblouku a průtok chladicí kapaliny ke špičce a dýze (pro hořáky chlazené vodou).

Ruční svařovací hořáky dělíme podle způsobu jejich chlazení:

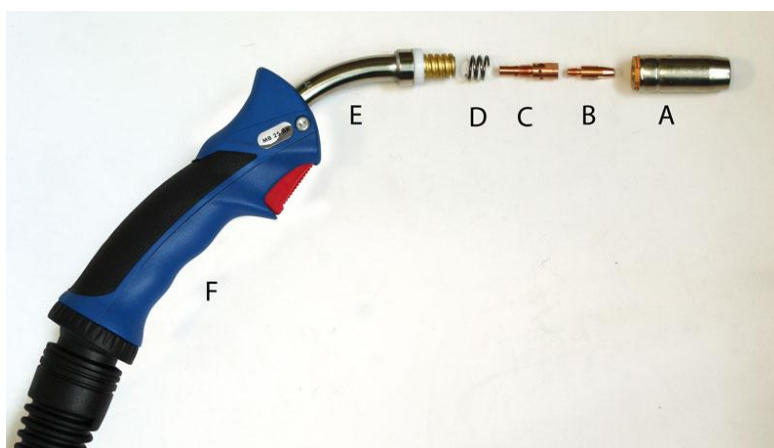
- a) Plynem
- b) Kapalinou (vodou)

Chlazení vodou se využívá při svařování vyššími svařovacími parametry v dlouhých provozech. Tyto hořáky mohou být vybaveny dálkovým ovládáním, případně i jednoduchým displejem.

Další skupinou jsou hořáky se systémem podávání „Push-Pull“, hořáky zajišťující odsávání zplodin z místa svařování, nebo hořáky určené speciálně pro robotizované svařování.

Přímo ze svařovacího hořáku vychází svařovací bowden, který je umístěn uvnitř hořákového kabelu. Pro ocelové dráty se používají ocelové svařovací bowdeny. U měkkých drátů (např. Al) dochází k postupnému zanášení bowdenu, což snižuje jeho životnost. Z tohoto důvodu se pro tento typ drátů dodávají speciální bowdeny, např. grafitové nebo teflonové.

Na obrázku 1.4 je vyobrazena sestava vodou chlazeného hořáku.



- A - hubice,
- B - kontaktní špička,
- C - adaptér špičky
(rozdělovač plynu),
- D - pružina,
- E - hrdlo držáku,
- F - rukojeť se spínačem.

Obrázek 1.4 Svařovací hořák s vodním chlazením [10]

1.1.4 Ochranné plyny [1], [4], [8]

Hlavní úlohou ochranných plynů je chránit svarovou lázeň, roztavený konec elektrody a oblouk před účinky okolní atmosféry, tzn. zamezit přístupu vzduchu do místa svařování. Používané ochranné plyny se liší chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Z tohoto důvodu volba ochranného plynu výrazně ovlivňuje stabilitu oblouku, způsob přenosu kovu přes oblouk a vytvoření svařovací housenky. Dále má výrazný vliv na metalurgické reakce v oblouku, kapce, tekutém kovu a mezi tekutým kovem a struskou.

Trvalý vývoj používaných ochranných plynů směřuje od jednosložkových (CO_2), přes dvousložkové ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) k moderním třísložkovým plynům ($\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{He}$). Při volbě plynů rozhodují technické a ekonomické ukazatele. V minulosti se používaly jednosložkové plyny, především ekonomicky výhodný CO_2 . V současnosti jsou velmi rozšířené směsi argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem.

Inertní plyny: argon, helium a jejich směsi chemicky nereagují se svarovou lázní a propal prvků ve svarovém kovu je minimální. Tyto plyny nemají tudíž vliv na výsledné chemické složení svarového kovu. Inertní plyny používáme pro svařování metodou TIG všech svařitelných materiálů a metodou MIG pro slitiny hliníku, mědi, niklu, aj.

Aktivní plyny ovlivňují v menší nebo větší míře chemické složení svarového kovu.

Hlavní složkou ochranných atmosfér je **Argon**. Je používán pro jeho inertní charakter, relativně nízký ionizační potenciál. Díky tomu se oblouk snadno zapaluje a má vysokou stabilitu hoření. Argon má velmi dobrou tepelnou vodivost a elektrický oblouk, který hoří v argonu má vysokou teplotu. Při svařování ocelí tavící se elektrodou se čistý používá zřídka, obvykle v kombinaci s jinými plyny.

Oxid uhličitý se používá pro jeho metalurgické účinky na svarovou lázeň a vysokou tepelnou vodivost. Díky této vlastnosti rozšiřuje a prohlubuje závar. Svařování v čistém CO_2 se používá hlavně v oblasti zkratového procesu nižšími proudy při svařování nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Nedá se aplikovat při svařování sprchovým přenosem.

Kyslík přidávaný do moderních třísložkových směsí zajišťuje snížení povrchového napětí taveniny a lepší stabilitu elektrického oblouku. Díky tomu lze dosáhnout dokonalého přechodu svaru do základního materiálu a hladké kresby svarové housenky. Důsledkem sníženého povrchového napětí je tvorba jemného rozstříku, který neulpívá na svařenci a šetří tak náklady na dokončovací operace. Přídavek kyslíku též příznivě působí na přechod do sprchového režimu přenosu svarového kovu.

Helium je inertní plyn s mimořádně vysokou tepelnou vodivostí. Přítomnost helia v ochranné atmosféře umožňuje svařovat s vyššími parametry, případně v přechodových oblastech přenosu přídavného materiálu. Proto jsou směsné plyny s héliem přednostně používány pro mechanizované způsoby svařování, při kterých lze nejlépe využít specifických vlastností těchto směsí.

Plyny a směsi plynů jsou uchovány v kovových tlakových lahvích, které jsou barevně rozlišeny podle evropské normy ČSN EN 1089-2. Značení je patrné z obrázku 1.5.



Obrázek 1.5 Barevné značení vybraných průmyslových plynů [13]

1.1.5 Přídavné materiály pro svařování MIG/MAG [2], [3]

Při svařování různých kovových materiálů metodou MIG/MAG se používají přídavné materiály ve formě plného drátu nebo plněného drátu (trubičkového drátu). Trubičkový drát je tvořen páskou svinutou do kruhového průřezu nebo tenkostěnnou trubičkou, s vnitřní náplní tavidla (rutilovou nebo bazickou) či kovového prášku, případně i s potřebnými legurami.

Při svařování plní přídavné materiály tyto funkce:

- Doplnují objem svarové lázně a zajišťují tak svary požadovaného tvaru a průřezu.
- Nahrazují prvky, které při svařování snížily svoji koncentraci ve svaru.
- Zabezpečují dodávku legujících prvků, dezoxidačních přísad do svaru s cílem zlepšit vlastnosti svarového kovu.

Pro zabezpečení těchto funkcí musí mít přídavné materiály následující vlastnosti:

- Vhodné chemické složení,
- Vhodný průřez (průměr) drátu,
- Vysokou čistotu a hladkost povrchu
- Přiměřenou tvrdost a tuhost
- Požadované rozměrové a tvarové tolerance

Dráty plného průřezu pro svařování ocelí se vyrábí v průměrech: $\varnothing 0,6$; $\varnothing 0,8$; $\varnothing 1,0$; $\varnothing 1,2$; $\varnothing 1,6$ mm a pro svařování neželezných kovů: $\varnothing 0,8$; $\varnothing 1,0$; $\varnothing 1,2$; $\varnothing 1,6$; $\varnothing 2,4$ mm. Přídavné dráty mohou být na povrchu pokryty

tenkou vrstvou mědi, aby se zabránilo jejich korozi při transportu a skladování. Měděná vrstva dále zlepšuje přívod proudu z kontaktní špičky svařovacího hořáku.

Plné dráty pro metodu MIG/MAG jsou běžným nebo přesným způsobem vinuty na cívku obvykle o hmotnosti 5 až 18 kg dle druhu, typu a průměru drátu. Pro mechanizovaná a robotizovaná pracoviště jsou některé typy drátů dodávány ve velkokapacitním balení o hmotnosti 200 kg pro průměr 0,8 mm a 250 kg pro ostatní průměry, nebo i ve větším provedení o hmotnosti 475 kg.

Trubičkové dráty plněné vhodnými přísadami se dělí podle chemického složení náplně na elektrody s náplní:

- rutilovou,
- bazickou,
- kovovou.

Trubičkové dráty jsou běžně dodávány na cívkách o hmotnosti 5 až 16 kg podle druhu a průměru. Některé druhy jsou rovněž dodávány ve velkokapacitních baleních.

Na obrázku 1.6 je možno vidět zleva: návin drátu na cívce vážící 18 kg, dále balení v sudech o hmotnosti 250 kg a 475 kg.



Obrázek 1.6 Varianty balení svařovacího drátu [9]

Přídavné materiály pro svařování musí vyhovovat svými mechanickými, metalurgickými, korozními a operativními vlastnostmi požadavkům na kvalitní svarový spoj.

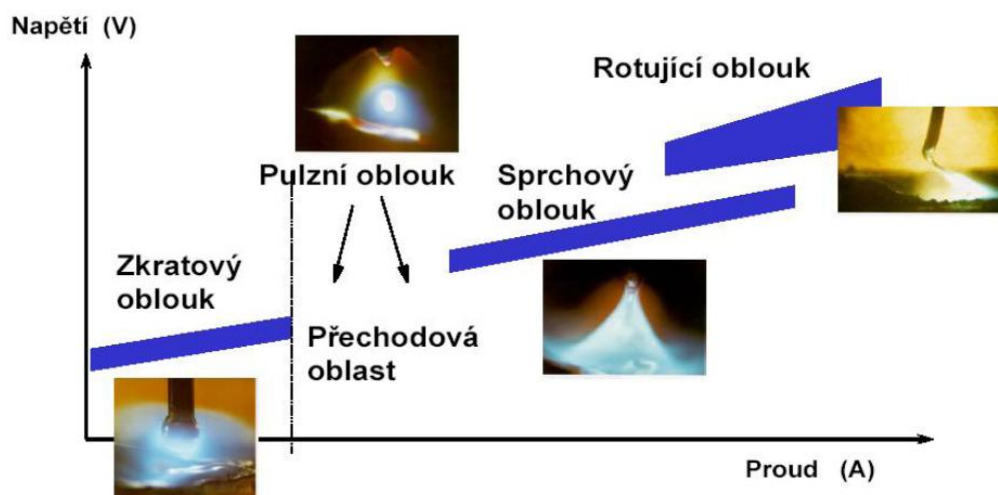
Volba přídavných materiálů se řídí:

- použitým základním materiálem,
- zvolenou metodou svařování,
- schválenou specifikací postupu svařování WPS,
- požadovaným stupněm jakosti,
- konstrukčním uspořádáním svarku.

1.1.6 Přenos kovu v oblouku [1], [6]

Způsob přenosu kovu z elektrody přes oblouk do svarové lázně ovlivňuje jeho stabilitu, rozstřík, schopnost svařovat v polohách, tvar a kvalitu povrchu nanesené housenky, ale i mechanické vlastnosti svarového kovu.

Přenos kovu v oblouku můžeme rozdělit do oblastí uvedených v následujícím obrázku 1.7.



Obrázek 1.7 Oblasti přenosu kovu v oblouku [16]

Zkratový přenos kovu do lázně probíhá při nižších hodnotách svařovacího proudu, od 60 do 180 A, napětí se pohybuje v rozsahu 14 až 22 V. Konec drátu se přiblíží svařovanému materiálu, přičemž dojde až ke zkratu. Růstem odporu se drát zahřívá a vlivem elektromagnetických sil dojde k vytvoření kapky. Zkratový přenos provází výrazný rozstřík svarového kovu. Stabilita procesu závisí na správném nastavení napětí a rychlosti podávání drátu. Zkratový přenos je vhodný pro svařování tenkých materiálů (plechů).

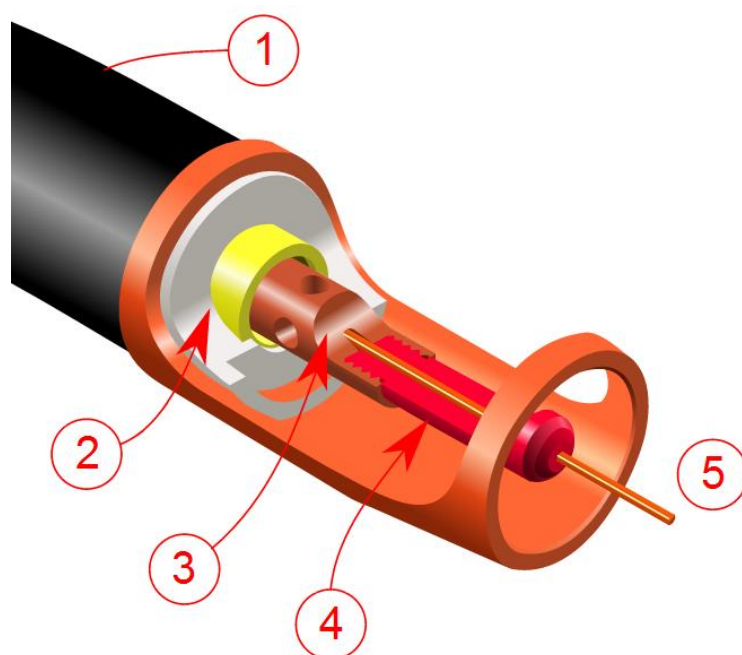
Bezzkratový přenos kovu probíhá při vyšších hodnotách proudu. V pásmu mezi zkratovým a bezzkratovým přenosem kovu se nachází tzv. přechodová oblast přenosu kovu, která se vyznačuje tvorbou velkých kapek, které se do svarové lázně uvolňují vlivem gravitační síly. V této oblasti probíhají nepravidelné zkraty a nestabilní hoření oblouku. Hodnoty proudu se pohybují od 190 do 300 A, napětí v rozmezí 22 až 28 V. Díky výraznému rozstříku se tento přenos nedoporučuje používat. Dalším zvýšením proudu dochází ke zvýšení frekvence oddělování kapek a snížení jejich velikosti. Tento typ přenosu kovu se nazývá **sprchový**. V tomto přenosu je velké množství vneseného tepla, proto je vhodný především pro svařování materiálů větších tloušťek.

Pulzní přenos se vyznačuje spojením výhod zkratového přenosu (minimální vnesené teplo) a sprchového přenosu (minimální rozstřík). Hodnota proudu se periodicky mění, nízký základní proud udržuje oblouk a při opakovaném zvyšování proudu do sprchové oblasti dojde k oddělení kapky. U tohoto přenosu je nutné nastavit jednotlivé parametry, tj. frekvenci pulzů, dobu pulzu, základní a maximální proud.

2 KONTAKTNÍ ŠPIČKY [5]

Kontaktní **špička**, nebo se v odborné terminologii též užívá slovního spojení kontaktní **průvlek**, je jedna z nejmenších, nejfrekventovanějších a relativně levných, avšak nedílných spotřebních součástí svařovacího hořáku. Tato malá součástka má velký vliv na kvalitu procesu svařování a na kvalitu vlastního svaru. Její poškození nebo opotřebení má za následek nekvalitní svar. Správná volba jejího základního materiálu je nezbytná pro zachování stále kvality svařovacího procesu a dosažení optimálního poměru mezi výkonem a cenou u této obrátkové položky.

Kontaktní špička je našroubována v místě ústí hořáku, jak je možno vidět na obr. 2.1.



Obrázek 2.1 Kontaktní špička našroubovaná v hořáku [14]

1 – hrdlo hořáku, 2 – izolační hmota, 3 – rozdělovač plynů, 4 – kontaktní špička, 5 – plynová hubice s výletem drátu

Kontaktní špičky můžeme rozdělit do dvou základních skupin – na tzv. „EURO standard“ a atypické kontaktní špičky. Kontaktní špičky „EURO standard“, tedy špičky standardních rozměrů, používá většina výrobců svařovací techniky. Pro bližší charakteristiku lze říci, že „EURO“ kontaktní průvleky pro plynem chlazené hořáky mají závit zpravidla M6. „EURO“ kontaktní průvleky pro vodou chlazené hořáky mají zpravidla závit M8. Jednotlivé typy špiček u obou typů hořáku se od sebe liší průměrem a délkou těla, dále průměrem díry ve špičce, podle toho, pro jaký průměr drátu je špička určena.

Výrobců těchto tzv. „EURO“ průvleků je celá řada a navzájem si konkurují, tudíž jsou ceny těchto součástí poměrně nízké a jsou mezi sebou vzájemně zaměnitelné pro veškeré typy svařovacích hořáků, které se řadí

do skupiny „EURO standard“. Nemalá řada výrobců svařovací techniky si vyrábí a používá atypické průvlaky, které pak není možné běžně zaměňovat do svařovacích hořáků od jiných výrobců.

2.1 Funkce kontaktní špičky

Kontaktní špička slouží pro přenos svařovacího proudu na svařovací drát. Drát musí být napájen svařovacím proudem rovnoměrně, proto kontaktní špička musí zajistit dobrý elektrický kontakt. Dalším úkolem kontaktní špičky je přesné a plynulé vedení drátu do místa svaru.

2.2 Materiály kontaktních špiček a jejich povrchová úprava [7]

Hlavní složkou základního materiálu kontaktních špiček je měď (cca. 99%). Jako vstupní materiál při výrobě špiček se měděné slitiny a měď používá kvůli vynikající elektrické a tepelné vodivosti, ve které je na druhé nejvyšší příčce hned za stříbrem. Měděné kontaktní průvlaky jsou dostupné za velmi přijatelnou cenu a jsou k dostání u všech prodejců svařovací techniky. Neustále rostoucí nároky na kvalitu svarového spoje a produktivitu svařování, využívání robotizace a automatizace ve svařování vedou k tomu, že měď jako čistý materiál přestává vyhovovat stále náročnějším požadavkům. Především malá odolnost proti opotřebení vede k použití slitin mědi pro výrobu kontaktních špiček.

Zde je výčet materiálů použitých k výrobě kontaktních špiček (obr. 2.2), se kterými se v technické praxi můžeme běžně setkat:

E-Cu či Cu-DHP

Jedná se o elektrolytickou měď (99,9 % Cu) či odkysličenou měď s vyšším obsahem fosforu. Tento materiál začíná měknout při 250 – 300 °C a používá se takřka výhradně při ručním svařování s nižšími proudy a klasickým obloukem. Jeho výhodou je maximální vodivost a nejsnazší nastartování oblouku, i když moderní elektronicky řízené zdroje již tuto vlastnost případně kompenzují. Příznivá je i cena tohoto materiálu, která se pohybuje zhruba na 50 – 60 % ceny špiček CuCrZr. Z tohoto důvodu se občas používají tyto tzv. „měkké“ špičky i ve vysoce náročných podmínkách s velkým proudovým a tepelným zatížením, ve kterých takováto špička nemůže dlouhodobě obstát. V těchto případech bere uživatel jako jediné kritérium jednotkovou cenu špičky a je smířen s vyšší frekvencí výměny, což nemusí být z dlouhodobého hlediska finančně logické.

CuCrZr

Slitina mědi, chromu a zirkonu je v současnosti standardem ve všech zátěžových aplikacích, a to jak v ručním, tak i strojním svařování. Tato slitina s obsahem Cr cca. 0,6 % a Zr cca. 0,1 % je výrazně tvrdší ve srovnání s E-Cu a má také vyšší teplotu měknutí, kolem 450 °C. Svými vlastnostmi se proto hodí pro všechny druhy svařování, kde se používá např. pulzní oblouk či tvrdší drát, nebo všude tam, kde je kladen důraz na stálost vlastností proudové

špičky a její proudovou zatížitelnost, např. při svařování dlouhých nepřerušovaných svarů. Tento materiál je mnohem odolnější proti otěru drátem, a proto je standardem při výrobě špiček pro svařování pod tavidlem.

Kompozitní materiál s tvrzeným jádrem

Výjimečnost tohoto materiálu spočívá v kombinaci vnějšího pláště z E-Cu a vnitřního jádra tvrzeného legovacími prvky vyrobeného technologií práškové metalurgie. Vnitřní jádro je ještě výrazně odolnější ve srovnání s CuCrZr proti tepelnému i mechanickému namáhání, což předurčuje kompozitní proudové špičky do těch nejextrémnějších podmínek, včetně svařování pod tavidlem. Jestliže u CuCrZr dochází k poklesu ve výkonnosti v teplotách nad 400 °C, tvrzené jádro si zachová své vlastnosti do více než dvojnásobku této teploty a jeho teplota měknutí je až na hranici 900 °C. Vzhledem ke kvalitám současného CuCrZr je však nutné dodat, že v přímém srovnání naplno vyniknou teprve v aplikacích s vyššími proudy, zhruba od 300 A a výše. Jedná se již o takové teploty a proudy, ve kterých i špička CuCrZr selhává výrazně rychlejším tempem, zatímco kompozitní špička běžně vydrží dvojnásobně až trojnásobně déle.

Povrchová úprava

Specifická povrchová úprava proudové špičky spočívá v galvanickém pokovení niklem či stříbrem. Tyto úpravy se vyskytují ve všech možných kombinacích a mají sloužit k lepší odolnosti proti ulpívání nečistot a rozstříku na hrotu špičky a v případě stříbra také ke zvýšení elektrické vodivosti a v důsledku toho i k prodloužení životnosti špičky.



Obrázek 2.2 Proudové špičky z materiálu E-Cu, CuCrZr a kompozitní jádro, včetně poniklování

2.3 Kontaktní špička Contec [15]

Svařovací špička Contec, vyvinutá firmou Fronius, se s problémem opotřebení špičky vypořádala zcela jinou cestou. Špička je dělená, skládá se ze dvou měděných elementů (obr. 2.3) v podobě skořepin, které do sebe zapadají. Její unikátnost spočívá v použití pružiny pro zajištění ideálního konstantního přitlaku na přídatný svařovací drát. Tím je zaručeno, že drát je v kontaktu se špičkou po celou dobu její životnosti.



Obrázek 2.3 Svařovací špička Contec [15]

Dvě pohyblivé půlené skořepiny udržují kontaktní plochy a přitlačné síly mezi kontaktní špičkou a svařovacím drátem v přesně definovaném cílovém rozmezí. Kontaktní špička se rovnoměrně odírá, čímž se minimalizují následky nerovnoměrného opotřebení ve svařovacím procesu. Výsledkem je konstantní a nekolísavý kontakt, extrémně vysoká stabilita procesu a nižší pravděpodobnost selhání kvůli špatnému kontaktu. Díky svým přizpůsobivým kontaktním skořepinám, je Contec vhodný pro všechny průměry a materiály drátu.

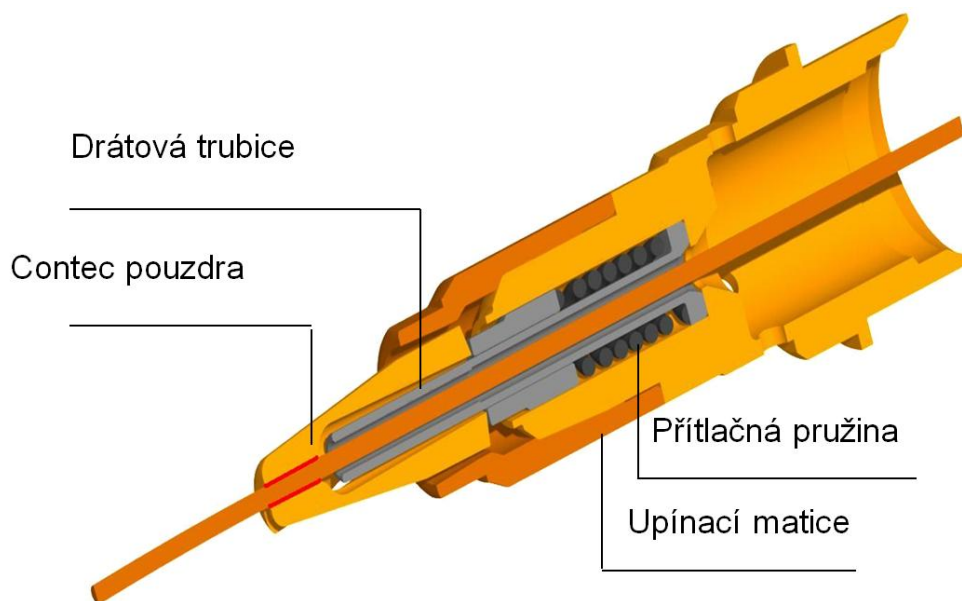
Tavba drátu vede k proměnlivému opotřebování kontaktní špičky, takovému jako je otěr a sklon obrušovaných částí k vypalování v dutině špičky. Změna kontaktní oblasti vede k vadným svarům a vyšším nákladům na odstávku svářecího zařízení. Naproti tomu přizpůsobivé půlené skořepiny v systému Contec udržují kontaktní oblast konstantní i v případě, kdy špička podléhá zvýšenému opotřebení. Pravděpodobná porucha se projeví výrazně později.

Řízené procesní podmínky jsou klíčovými požadavky v případě, že má být dosaženo vysoké kvality opakovaných svarových spojů. Avšak tření pohybujícího se drátu u MIG/MAG svařování způsobuje opotřebení v kontaktní dutině špičky. Výsledkem jsou změny velikosti a polohy kontaktní oblasti. V důsledku toho vznikají vlivy, které mají negativní vliv na svařovací parametry. Inovativní Contec kontaktní špička bojuje ve značné míře s následky opotřebení a jejich nepříznivými účinky na proces. V automatizovaném

procesu uživatelé zejména získají zlepšení stability procesu a provozní použitelnosti.

Odborníci ve firmě Fronius navrhli kontaktní špičku takovým způsobem, že povrch, se kterým se drát dostane do kontaktu je tak velký, jak je to možné, přesto co možná nutně nejmenší. Tímto dosahují na straně jedné stabilního přenosu proudu, ale na straně druhé zabránění příliš včasného tavení drátu v důsledku tepla způsobeného třením.

Kontakt je zajištěn dvěma elementy v podobě půlených skořepin. Svařovací proud teče skrze ně dvěma „cestami“ do drátu elektrody. Díky nastavitelné síle pružiny (obr. 2.4) jsou dvě skořepiny tlačeny k sobě a tím je tlačeno i na drát procházející mezi nimi. Během svařování materiál špičky podléhá opotřebení pouze v kruhových kontaktních plochách v přední části skořepin. Z toho vyplývá řada výhod pro uživatele, zejména větší spolehlivost procesu a prodloužení použitelnosti ve srovnání s konvenčními špičkami. To znamená důsledné snížení míry zmetkovitosti a šetření prostředků. Contec kontaktní špičky mají až sedmkrát delší životnost než jejich konvenční „soupeři“ při použití pouze pětiny materiálu konvenčních špiček.

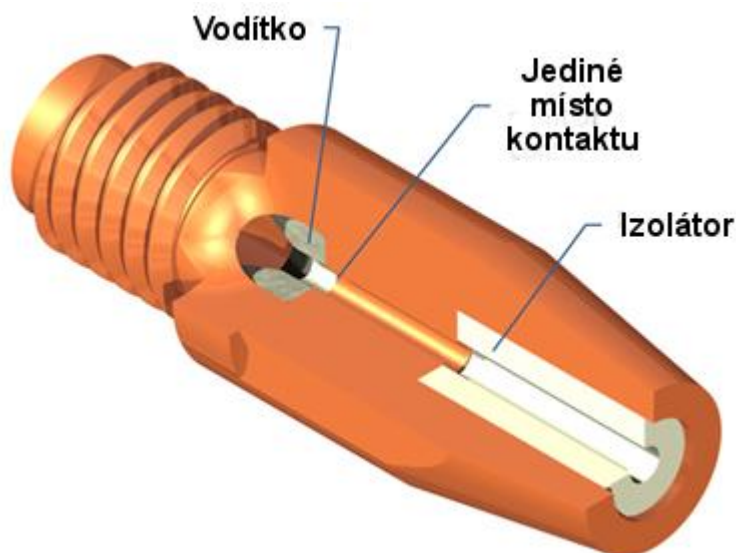


Obrázek 2.4 Schéma špičky Contec [15]

Při použití špičky Contec kontaktní plocha není závislá na jakosti drátu, kdy přítlačná síla je poměrně přesně řízena, čímž se minimalizuje tření. Částičky odlupované vlivem otěru odcházejí mimo povrch ze špičky přes drát za pomoci podávací jednotky, čímž se předejde nedopalku a souvisejícímu povinnému zkrácení času. Provozní obsluha může letmo dohlížet na stav kontaktní špičky a připravit se na výměnu špičky v průběhu procesu svařování. Contec špička je určena pro veškeré běžné průměry drátu ze standardního ocelového či hliníkového materiálu.

2.4 Kontaktní špička MIGfast [11]

MIGfast svařovací špička (obr. 2.5) je výsledkem čtyřletého výzkumu a vývoje zahájeného ve výzkumném středisku pro svařování konstrukcí, poté převzatého australskou výrobní společností MIGfast, která si nechala tuto technologii špičky patentovat.



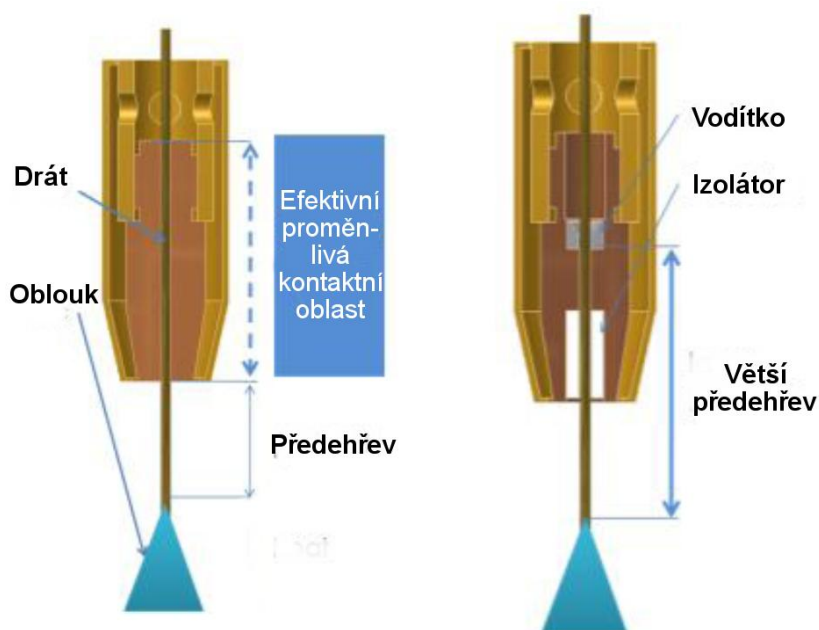
Obrázek 2.5 Svařovací špička MIGfast [11]

Špička je kompatibilní s běžnými hořáky od různých výrobců a umožňuje jednoduché a nákladově efektivní vylepšení technologie svařování. Výrobce udává, že špička dosahuje lepšího řízení oblouku vytvořením jediného kontaktního místa uvnitř měděného těla špičky prostřednictvím kovové vložky a keramického izolátoru, což vede k následujícím vylepšením:

- **Delší životnost špičky:** výsledné snížení prostojů a celkové snížení nákladů.
- **Vyšší svařovací výkon:** snížení svařovacích časů.
- **Lepší stabilita oblouku:** snížení rozstřiku a méně čištění.

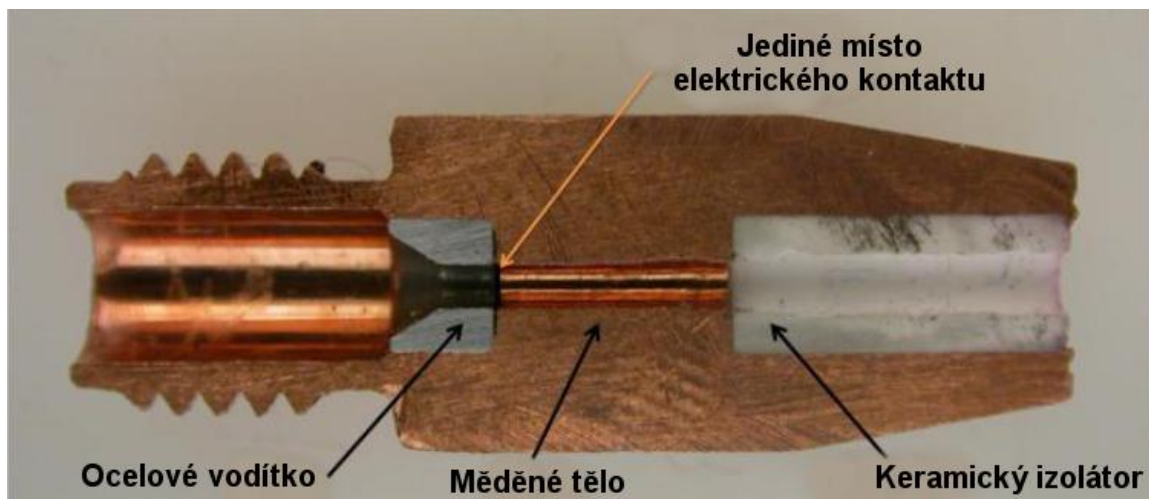
MIGfast kontaktní špička zlepšuje řízení mezi elektrickým kontaktem a drátem, zajišťuje lepší stabilní provozní podmínky při svařování pulzním nebo konstantním napětím zdroje (obr. 2.7). Toho je dosaženo prostřednictvím konstrukčního uspořádání špičky tvořené z těla, vodícího kroužku a izolátoru. Drát je veden přes špičku a do kontaktu přichází pouze v jediném bodě podél měděného otvoru, jenž poskytuje stabilní kontaktní bod a vytváří stabilní oblouk.

Díky použití vodícího kroužku se soustředí kontakt s drátem do jednoho bodu v měděném otvoru, zatímco keramický izolátor brání jakémukoliv dalšímu kontaktu. Keramický izolátor také eliminuje ovalitu v místě výletu drátu ze špičky a zajišťuje větší přesnost při řízení svařovacího oblouku po celou životnost špičky. Vodící kroužek vyrobený z tvrdého materiálu, odolávající opotřebení, poskytuje nosnou funkci drátu a zabraňuje opotřebení měděné části špičky.



Obrázek 2.6 Srovnání konvenční a MIGfast špičky [11]

Tento návrh (obr. 2.6) překonává omezení, kterým čelí konvenční špičky, a to tím, že udržuje konstantní kontaktní místo ve špičce a zvyšuje přehřev drátu před obloukem. Dodatečné přehřátí drátu umožňuje kapičkám absorbovat více tepla při průchodu elektrického oblouku a tím poskytuje hladší přechod do svarové lázně.



Obrázek 2.7 Rozříznutá špička MIGfast [11]

Průmyslové výsledky zkoušek ukazují přibližně pětkrát delší prodloužení životnosti oproti konvenčním špičkám a zvýšení svařovacího výkonu v průměru o 25%. Kvalita svaru se také znatelně zlepšila.

2.5 Opotřebení kontaktních špiček

Jak již bylo uvedeno výše, hlavním úkolem kontaktní špičky v procesu MIG/MAG je přenášet na přídatný materiál elektrický proud ze svařovacího zdroje. Tato okolnost je jedním z důvodů, proč se kontaktní špičky musí pravidelně měnit, neboť při kontaktu se svařovacím drátem dochází na vnitřních stěnách špičky k elektroerozi, která ve spojení s klasickým mechanickým namáháním - otěrem časem způsobí takové zvětšení a zdeformování vodícího otvoru pro drát, že dojde k jeho nepřesnému vedení a uhýbání, přerušení oblouku či naopak zapečení drátu. Souběžně s tím je špička vystavena i nánosům zplodin a rozstříku ze samotného svaru. Kdy přesně ale dojde k meznímu opotřebení a nutnosti výměny záleží jak na veškerých svařovacích parametrech a jejich vhodném nastavení, tak na typu přídatného materiálu a zejména na samotném materiálu, ze kterého je kontaktní špička vyrobena.

2.5.1 Vlivy na opotřebení kontaktních špiček

1) Mechanický otěr – způsobuje:

a) Postupné vydírání stěny v dutině špičky

V oblasti, kde svařovací drát opouští prostor kontaktní špičky, dochází k postupnému vydírání stěny špičky, což vede ke zvětšení vůle mezi drátem a otvorem kontaktní špičky. U nových nepoužitých špiček je předepsaná vůle mezi drátem a stěnou špičky, jež činí 0,2 mm. Zvětšení vůle způsobí snížení kontaktního tlaku mezi svařovacím drátem a stěnou kontaktní špičky. Kontaktní tlak obstarává svařovací hořák svým specifickým zakřivením. Snížení kontaktního tlaku mezi drátem a stěnou špičky zapříčiňuje horší přenos proudu na svařovací drát.

b) Uvolňování drobných „šupinek“ z povrchu drátu

Mechanický otěr taktéž způsobuje odírání povrchové vrstvy drátu, kterak dochází k uvolňování drobných „šupinek“ a jejich následnému usazování uvnitř kontaktní špičky. Tyto „šupinky“ následně vytváří tzv. izolační vrstvy, které v kontaktní oblasti znemožňují převod kontaktního proudu. S uvedeným problémem se lze převážně setkat u poměděného přídatného materiálu, kdy se z drátu odírá vrstva mědi, jež vytváří tzv. izolační vrstvu. U nepoměděného drátu to může být způsobeno odíráním vrstvy grafitu.

2) Přechodový odpor mezi špičkou a drátem – má největší podíl na opotřebení kontaktních špiček a závisí na následujících faktorech:

a) Materiálu kontaktních špiček

Jak již bylo uvedeno výše, nejčastěji používaným materiálem pro výrobu kontaktních špiček je měď, která se používá z důvodu nízké ceny, dobré dostupnosti a výborné elektrické a tepelné vodivosti. Z důvodů zlepšení odolnosti proti opotřebení (otěru) se používají slitiny mědi, chromu a zirkonu nebo se používají kompozitní materiály s tvrzeným jádrem legovacími prvky.

Tato materiálová úprava nám podstatně zvýší odolnost proti opotřebení, ovšem za cenu snížení elektrické a tepelné vodivosti.

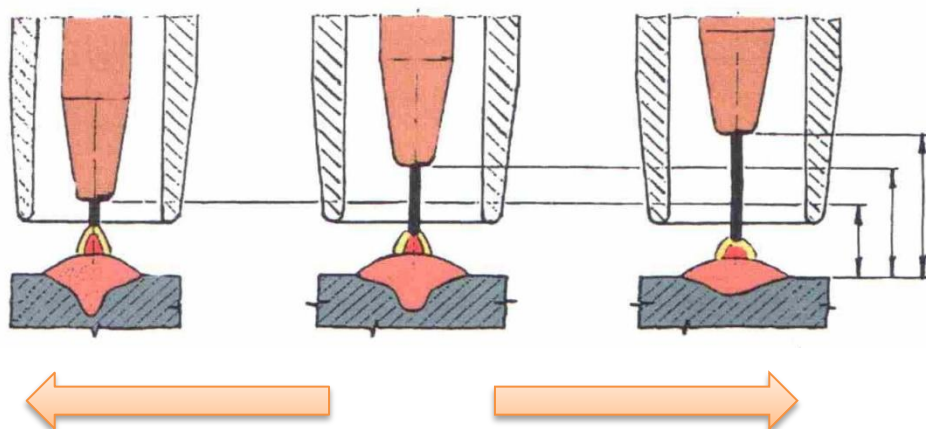
b) Chemickém složení svařovacího drátu

Tento faktor taktéž velmi ovlivňuje přechodový odpor. Bylo prokázáno, že největší přechodový odpor byl naměřen u drátu CrNi, který se používá pro svařování legovaných ocelí.

c) Teplotě kontaktní špičky

Uvedený faktor výraznou měrou ovlivňuje opotřebení kontaktní špičky a závisí na mnoha okolnostech. Mezi parametry nejvýrazněji ovlivňující teplotu špičky lze uvést:

- **Svařovací proud** – má největší vliv na teplotu špičky, kdy závislost teploty na proudu je přímo úměrná. Dále závisí na mnoha ostatních parametrech, především na průměru svařovacího drátu a rychlosti jeho podávání.
- **Vzdálenost svařovacího hořáku** – se zvětšující vzdáleností se teplota špičky snižuje a ovlivňují se i další parametry, jak je vidět z obrázku 2.8. Při robotizovaném svařování je vzdálenost prakticky neměnná, při ručním závisí na stabilitě ruky svářeče.
- **Typ svařovacího hořáku** – při použití svařovacího hořáku vybaveného vodním chlazením, kdy chlazení je zavedeno až ke svařovací špičce, je umožněno špičce účinněji odolávat vysokým teplotám. Kdežto u obyčejného svařovacího hořáku, kdy chlazení obstarává pouze proud ochranného plynu protékajícího podél špičky, je chlazení nedostatečné zvláště při vyšším proudovém a delším časovém vytížení.



roste
malý
větší
malý
velký

proud
úbytek napětí
průvar
rozstřík
ohřev kontaktní špičky

klesá
velký
menší
větší
malý

Obrázek 2.8 Vlivy na nastavení vzdálenosti kontaktní špičky [1]

d) Průměru svařovacího drátu

Na přechodový odpor má průměr drátu značný vliv. Bylo prokázáno, že čím větší průměr svařovacího drátu, tím vzrůstají přechodové odpory mezi špičkou a drátem.

e) Fyzikálních vlastnostech povrchu drátu

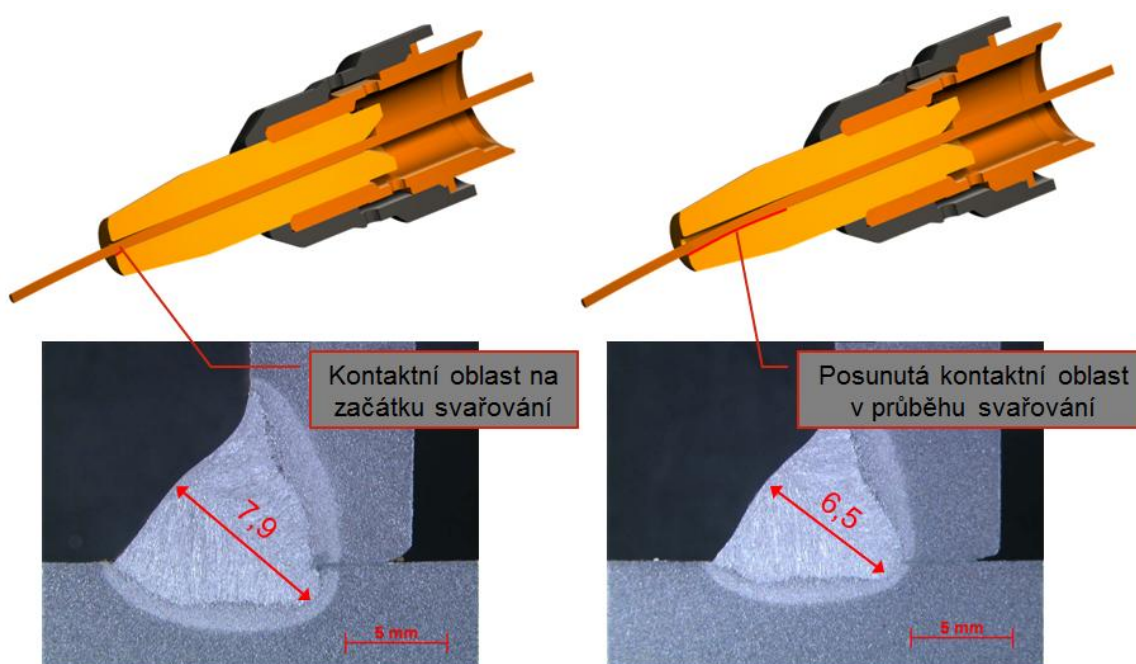
Povrchová úprava drátu značně ovlivňuje přechodový odpor. Dráty poměděné mají přechodový odpor nižší než dráty nepoměděné. Laboratorní výzkumy ukázaly, že poměděný drát při svařování uvolňuje toxické plyny, jež mají neblahé účinky na zdraví svářeče. Z tohoto důvodu je poslední dobou trendem vyrábět dráty nepoměděné se speciální povrchovou úpravou, které se vyrovnají vlastnostem drátů poměděných. Další nevýhodou měděného drátu je odlupování malých částeczek mědi z povrchu drátu a jejich následné usazování v průchodu kontaktní špičky, čímž vytvářejí izolační vrstvu a v konečném důsledku může dojít k zatavení drátu v ústí špičky.

Přechodový odpor ovlivňuje nejen povlak drátu, ale i stav povrchu drátu. Hrubý a znečištěný drát (např. mastnotou) má mnohem větší přechodový odpor než drát, který je čistý a hladký.

f) Kontaktní tlak mezi špičkou a drátem

Tento tlak je dán specifickým zakřivením svařovacího hořáku a drátu odvíjeného z cívky nebo sudu. Ukazatelem zakřivení drátu je tzv. rozvin drátu, kdy při uvolnění konce drátu na rovné podložce se utvoří kolo určitého průměru. Čím je tento rozvin menší, tím má drát větší zakřivení. Z toho plyne, že čím je drát navinut na větším průměru cívky, tím má větší rozvin. U drátu, který je dodán v sudu je rozvin maximální (drát je při rozvinu téměř přímý).

V průběhu svařování je kontaktní oblast vlivem zakřivení drátu a elektroerozivního opotřebení posunuta, což má za následek menší průvar materiálu, jak je možné vidět z obrázku 2.9.



Obrázek 2.9 Změna kontaktní oblasti běžné kontaktní špičky [15]

2.5.2 Důsledky opotřebení kontaktní špičky

Opotřebení kontaktních špiček kvůli výše uvedeným vlivům sebou přináší důsledky, které se projevují následujícími způsoby:

1) Větší rozstřík kovu

Rozstřík kovu se projevuje znečištěním svarové housenky a svařovaného materiálu v jejím okolí, dále znečištěním plynové hubice a kontaktní špičky. Znečištění je způsobeno ulpíváním drobných částeczek kovu ve tvaru „kuliček“ na povrchu součástí vystavených rozstříku. Ulpívání částeczek na svařovaném materiálu je nežádoucí a proto je nutné jeho čištění, což snižuje produktivitu procesu. Usazování částeczek v plynové hubici je rovněž nežádoucí, protože usazeniny brání rovnoměrnému proudění ochranného plynu, který chrání svarovou lázeň před účinky okolní atmosféry, a hrozí pórovitost svarové housenky. U svařovací špičky hrozí vlivem rozstříku zapečení částeczek kovu v ústí špičky a tím její vyřazení z funkce. Zcela zabránit rozstříku kovu nelze, můžeme ho pouze do určité míry eliminovat nastavením svařovacích parametrů.

Použitím speciálních ochranných prostředků lze chránit svařovací hořák před ulpíváním nečistot. Ochranné prostředky se dodávají ve formě sprejů nebo past. Ochranný sprej se nastříká do prostoru plynové hubice, kde vytvoří tenký ochranný film, který brání usazování nečistot. Ochranná pasta se aplikuje „smočením“ hubice do nádoby s pastou v mezech svařování a prostojí, jelikož svařovací hořák musí být ohřátý, aby se pasta roztekla a vytvořila ochranný film. Tyto ochranné prostředky se musejí v častých intervalech opakovaně aplikovat, protože jejich ochranný účinek dlouho nevydrží. Novinkou v této oblasti je keramický ochranný povlak, který je dodáván ve spreji. Jejím aplikováním se vytvoří suchý ochranný povlak, který chrání svařovací hořák před ulpíváním „kuliček“ kovu až po dobu 8 hodin.

2) Zhoršený přenos svařovacího proudu ze špičky na svařovací drát

Postupné vydírání otvoru špičky způsobuje snižování tlaku drátu na stěnu špičky. Tím dochází ke zhoršení kontaktní oblasti, tudíž i ke zhoršení přenosu svařovacího proudu.

3) Zhoršená kvalita svarové housenky

Souvisí se zhoršeným převodem svařovacího proudu ze špičky na drát a s nadměrným rozstříkem.

4) Nestabilní hoření oblouku

Tento jev je způsoben opět zhoršeným převodem proudu a výrazně je ovlivněn nesprávným výletem elektrody ze špičky.

5) Nesprávné vedení elektrody

Postupným vydíráním špičky dochází ve špičce ke zvětšení otvoru, což způsobuje, že drát není vůči špičce přesně centricky veden.

6) Nekvalitní provaření materiálu

Příčinou je opět zhoršený převod proudu. Následky špatně provařeného kořene svaru mohou být velmi kritické.

3 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ KONTAKTNÍCH ŠPIČEK

3.1 Návrh zkoušek

Prováděné zkoušky jsou zaměřeny na oblast průmyslového svařování. Svařovat budeme při parametrech, jež se v technické praxi často uplatňují. Cílem je otestovat svařovací špičku MIGfast společně s ostatními běžně používanými kontaktními špičkami a mezi sebou je vzájemně porovnat. Ukazatelem opotřebení kontaktních špiček bude úbytek jejich materiálu.

U zkoušek budou použity následující prostředky a zařízení:

1) Kontaktní špičky:

Použijeme následující 3 typy kontaktních špiček:

Tabulka 3.1 Typy kontaktních špiček

Pořadí	Výrobce	Použité materiály, povrchová úprava	Rozměry špičky v mm (závit x délka; pro Ø drátu)
1	MIGfast	Cu, keramika, stříbřitá ocel (vysoce-uhlíková lesklá ocel)	M8 x 30; Ø 1,2
2	Abicor Binzel	E-Cu (elektrolytická měď, 99,9 % Cu)	M8 x 30; Ø 1,2
3	Abicor Binzel	slitina CuCrZr, povrch poniklován	M8 x 30; Ø 1,2

2) Svařovací drát

Použijeme nejběžnější svařovací drát s průměrem 1,2 mm od výrobce ESAB, klasifikovaný podle normy ČSN EN ISO 14341 s označením G3Si1, obchodní označení: OK AristoRod 12.50. Jedná se o lesklý nepoměděný svařovací drát určený pro svařování většiny běžných nelegovaných konstrukčních ocelí s pevností v tahu do 530 MPa. Chemické složení drátu je uvedeno v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 Typické chemické složení drátu

C	Si	Mn
0,10 %	0,90 %	1,50 %

3) Ochranný plyn

Použijeme ochranný plyn klasifikovaný podle normy ČSN EN ISO 14175 s označením Z - AC+NO - 18/0,03. Obchodní označení firmy Linde je MISON 18. Chemické složení plynu je uvedeno v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3 Chemické složení ochranného plynu

Ar	CO ₂	NO
81,97 %	18 %	0,03 %

4) Svařovací zařízení

Použijeme svařovací zařízení AristoMig 450 (obr. 3.1) od firmy ESAB. Technické parametry zařízení jsou uvedeny v tabulce 3.4.

Svařovací zdroj má oddělený čtyřkladkový podavač drátu, na kterém je umístěn ovládací panel Aristo U8. Pomocí tohoto ovládacího panelu jsou nastavovány a zaznamenávány parametry svařování.



Obrázek 3.1 AristoMig 450

Tabulka 3.4 Technické parametry AristoMig 450

vstupní napětí, frekvence	400V, 50Hz
dovolené zatížení při 40°C	
45 % pracovní cyklus	450 A / 38 V
60 % pracovní cyklus	425 A / 37V
100 % pracovní cyklus	360 A / 34,4 V
proudový / napěťový rozsah	15 – 450 A / 8 – 30 V
napětí naprázdno	65 – 80 V
výkon naprázdno	640 W
výkon naprázdno s chladicí jednotkou	840 W
účinnost při maximálním proudu	0,92
účinnost při maximálním proudu	83 %

5) Svařovací hořák

Použijeme kapalinou chlazený svařovací hořák MB 501 D od firmy ABICOR BINZEL s následujícími parametry (tab. 3.5).



Obrázek 3.2 Hořák MB 501 D

Tabulka 3.5 Technická data MB 501 D

způsob chlazení	kapalinou
zatížení	500 A – CO ₂ 450 A – směsný plyn
drát Ø	1,0 – 1,6, (2,4) mm
Pozn.: Při pulzním svařování se parametry redukuje o 35%.	

Ostatní parametry, jako nastavení svařovacího proudu, rychlost posuvu drátu, průtok plynu, rychlost svařování budou voleny až při samotném průběhu zkoušky.

Špičky budeme testovat ve dvou oblastech přenosu kovu, a to ve sprchovém a pulzním. Ve sprchovém přenosu budeme svařovat 6 x 10 min. Po každých deseti minutách špičky očistíme a zvážíme. V pulzním přenosu, který je při daných podmínkách velmi náročný na životnost špičky, postačí, když budeme svařovat pouze 20 min. Špičky po navaření opět očistíme a zvážíme.

3.2 Průběh zkoušek

Všechny prováděné zkoušky proběhly ve svařovně firmy ESAB Vamberk. Pracoviště je vybaveno výše uvedeným svařovacím zařízením a prostředky. Dalším vybavením svařovny je rotační polohovadlo, ve kterém je upnuta kovová trubka. Svařovací hořák je upevněn v polohovacím držáku (obr. 3.3), který je součástí polohovadla. Polohovací držák umožňuje nastavení vzdálenosti a úhlu hořáku vůči svařovanému materiálu a zaručuje konstantní posuv hořáku vůči trubce při svařování. Přídavný materiál je tedy při současném otáčení trubky a posuvu hořáku navážen do šroubovice. Rotační polohovadlo je vybaveno řídicím systémem, který je synchronně propojen se svařecím zařízením. To znamená, že rotační polohovadlo je se svařovacím zařízením časově sladěno.



Obrázek 3.3 Hořák upevněný v držáku

Během celé zkoušky byly měřeny vibrace drátu v bowdenu snímačem umístěným v místě vstupu drátu z podavače do bowdenu, kde jsou vibrace nejvýraznější. Dále byla měřena podávací síla drátu, tj. síla nutná k překonání odporu bowdenu. Obě tyto hodnoty byly zapisovačem zakreslovány na svitek papíru.



Obrázek 3.4 Aristo U8

Z ovládacího panelu Aristo U8 (obr. 3.4) je možno sledovat okamžité hodnoty svařovacího proudu a napětí. Na konci každého procesu svařování byly odečítány průměrné hodnoty svařovacího proudu a napětí.

Před zkouškou jsme všechny špičky navážili. Následně po každém navaření jsme špičky dokonale očistili. Čištění provádíme tak, že špičku vložíme do roztoku kyseliny chlorovodíkové, kterou necháme působit přibližně pět minut. Poté špičku zbavíme zbylých nečistot a vysušíme. Očištěné kontaktní špičky opět zvážíme.

3.3 Výsledky zkoušek

Zkoušky proběhly s následujícími parametry:

Tabulka 3.6 Svařovací parametry

Parametr / přenos	Sprchový	Pulzní
Svařovací napětí	32 V	32 – 45 V
Svařovací proud	350 A	300 A
Rychlost posuvu drátu	13 m/min	13 m/min
Průtok plynu	22 l/min	22 l/min;

Opotřebení kontaktních špiček je stanoveno:

1) Úbytkem hmotnosti špičky

Následující tabulky 3.7 a 3.8 uvádí úbytky hmotnosti špiček při svařování ve sprchovém a pulzním režimu. Vše je poté přehledně znázorněno graficky na obrázcích 3.5, 3.6 a 3.7.

Tabulka 3.7 Úbytky hmotnosti při sprchovém svařování [mg]

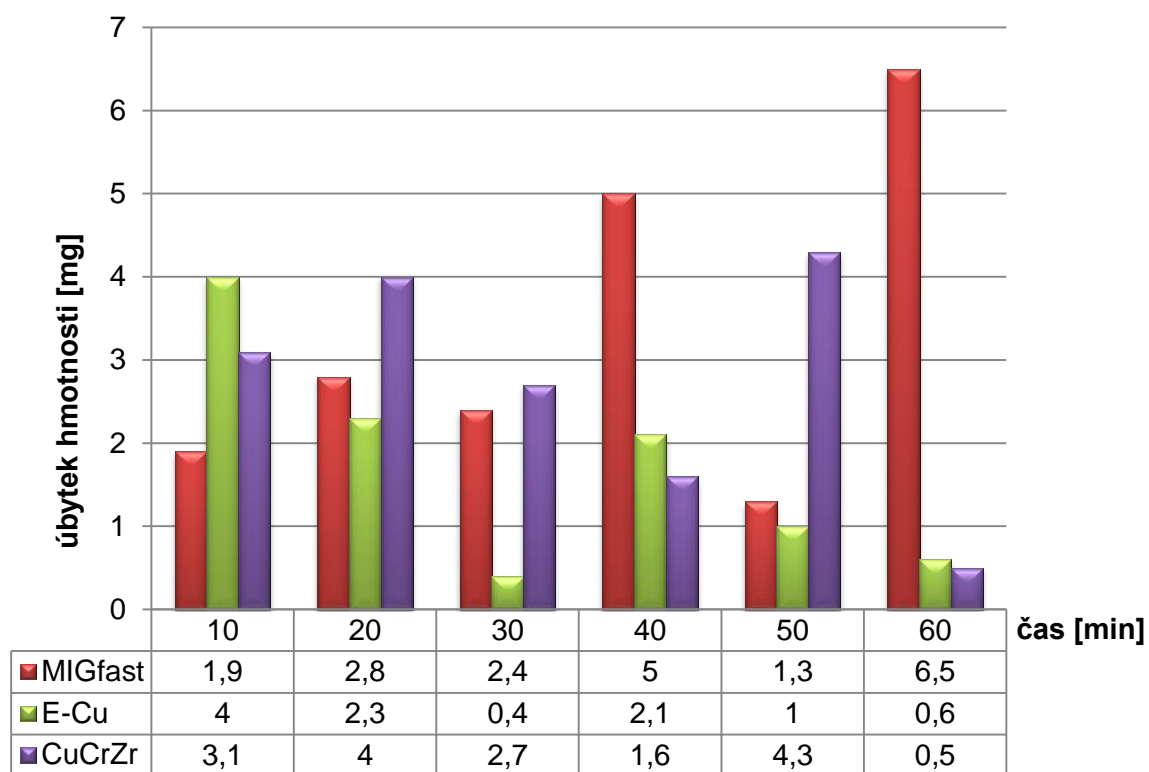
čas [min]	MIGfast	E-Cu	CuCrZr
10	1,9	4	3,1
20	2,8	2,3	4
30	2,4	0,4	2,7
40	5	2,1	1,6
50	1,3	1	4,3
60	6,5	0,6	0,5
Σ	19,9	10,4	16,2

Tabulka 3.8 Úbytky hmotnosti při pulzním svařování [mg]

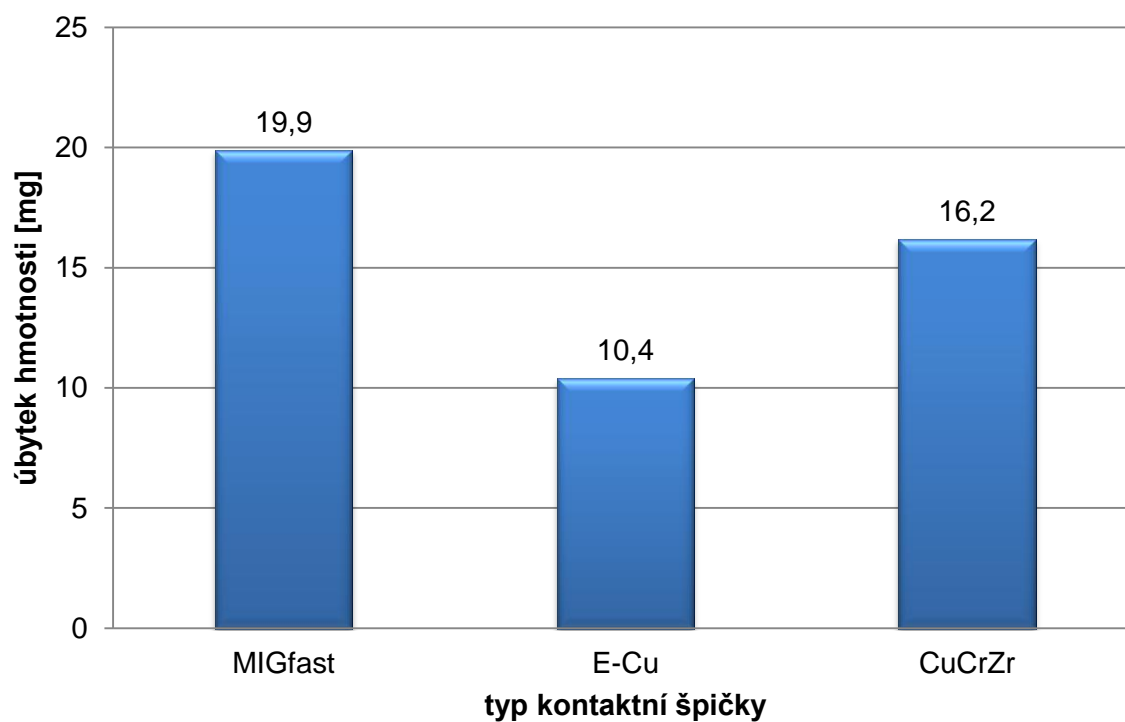
čas [min]	MIGfast	E-Cu	CuCrZr
20	21,7	6,8	5

Z grafu na obrázku 3.5 je patrný postupný úbytek materiálu z testovaných tří typů kontaktních špiček po jednotlivých deseti minutách při sprchovém přenosu kovu do lázně. Je vidět, že úbytek materiálu u špičky MIGfast postupně narůstá. V posledním stádiu mezi padesátou a šedesátou minutou svařování je úbytek hmotnosti špičky MIGfast nejvýraznější.

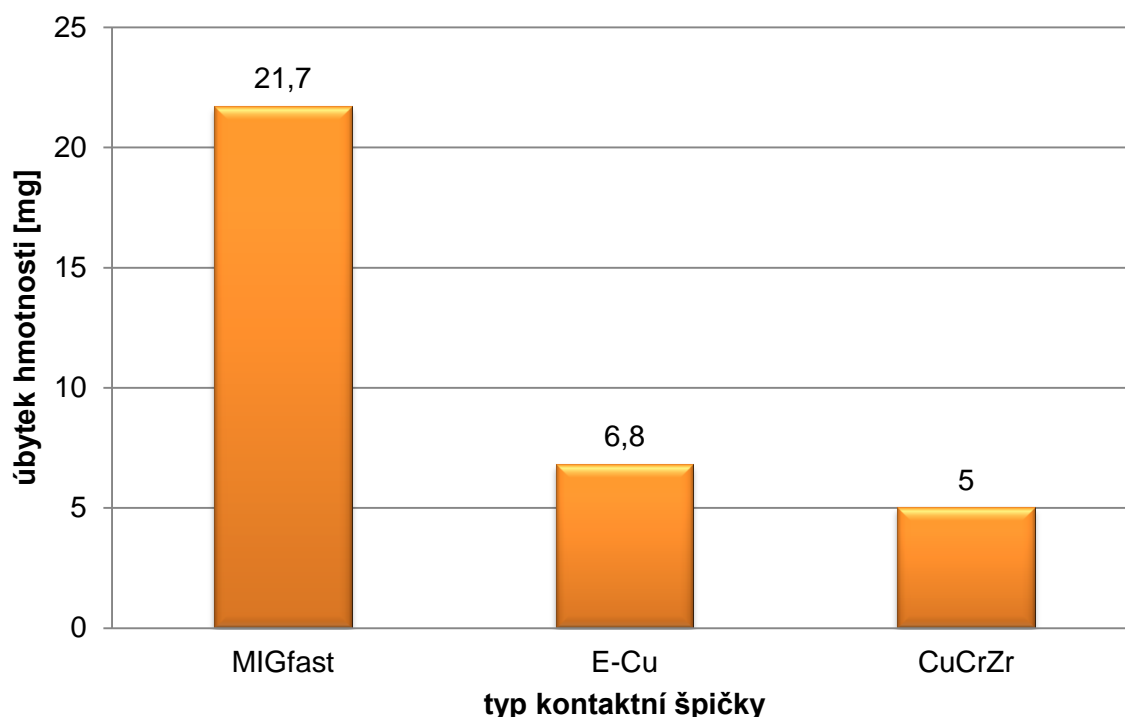
Z grafu na obrázku 3.6 je vidět, že celkově největšího úbytku hmotnosti dosáhla špička MIGfast, a to přesně 19,9 miligramů. Je ovšem zajímavé, že špička ze slitiny CuCrZr dosáhla horšího výsledku než obyčejná špička z E-Cu. Tuto skutečnost si neumíme vysvětlit a velmi nás překvapila.



Obrázek 3.5 Úbytky hmotnosti při sprchovém svařování



Obrázek 3.6 Úbytky hmotnosti při sprchovém svařování po 60 min



Obrázek 3.7 Úbytky hmotnosti při pulzním svařování po 20 min

Z grafu na obrázku 3.7 je patrný úbytek materiálu ze třech testovaných typů kontaktních špiček po dvaceti minutách svařování při pulzním přenosu kovu do lázně. Je vidět, že největšího úbytku dosáhla opět špička MIGfast, a to přesně 21,7 miligramů. Úbytek špičky MIGfast je v tomto přenosu kovu ještě větší než při sprchovém a to za pouhých dvacet minut. Tudiž špička v tomto přenosu odolávala opotřebení výrazně hůře. Naproti tomu obě špičky od firmy Abicor Binzel si počínaly s úbytky materiálu značně lépe. Špička ze slitiny CuCrZr dosáhla nejlepšího výsledku. Rozdíl v úbytku materiálu mezi špičkou z E-Cu a CuCrZr není ovšem nijak výrazný.

2) Posouzením tvaru otvoru špičky

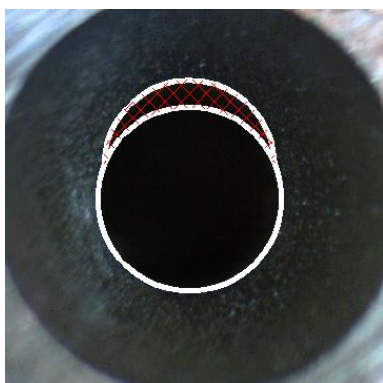
Jednotlivé opotřebené špičky pomocí mikroskopu nafotíme. Z fotek vyfocených ve směru kolmém na průchozí otvor provedeme procentuální stanovení ovality (nekruhovitosti) jednotlivých špiček. Procentuální ovalita je stanovena podílem plochy opotřebeného otvoru (na fotkách červeně vyšrafovaná oblast) k ploše původního neopotřebeného otvoru špičky. Ovalita jednotlivých špiček je uvedena v tabulce 3.9.

Tabulka 3.9 Procentuální stanovení ovality špiček

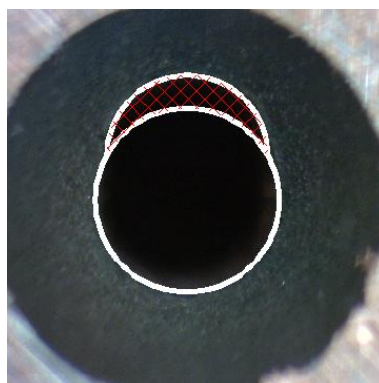
Špička / přenos	Sprchový	Pulzní
MIGfast	15,6 %	17,7 %
E-Cu	17,5 %	17,1 %
CuCrZr	20,8 %	19,5 %

Nutno ovšem podotknout, že ovalitu špiček nelze srovnávat s úbytkem hmotnosti špiček, jelikož ovalita je stanovena pouze v jedné rovině dutiny špičky. Abychom výsledky mohli srovnávat, museli bychom stanovit ovalitu ve všech rovinách, kde je špička v otvoru opotřebena, což je ovšem prakticky neproveditelné.

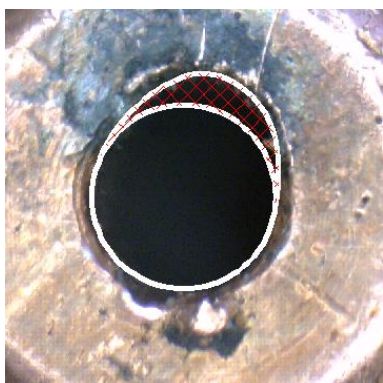
Ovalitu jednotlivých kontaktních špiček ukazují obrázky 3.8 – 3.13. Špička MIGfast byla nafocena po odříznutí části se závitem v místě zalisovaného ocelového vodička. Zbylé špičky byly nafoceny v místě jejich ústí, kde vylézá svařovací drát.



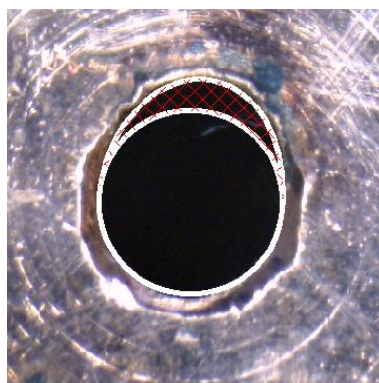
Obrázek 3.8 Ovalita MIGfast - sprcha



Obrázek 3.9 Ovalita MIGfast - pulz



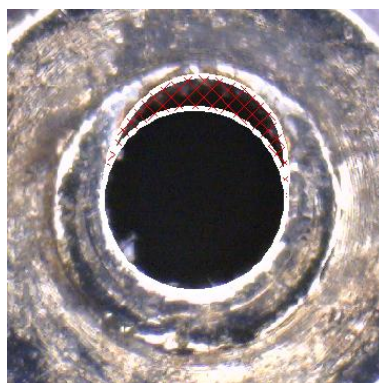
Obrázek 3.10 Ovalita E-Cu - sprcha



Obrázek 3.11 Ovalita E-Cu - pulz



Obrázek 3.12 Ovalita CuCrZr - sprcha



Obrázek 3.13 Ovalita CuCrZr - pulz

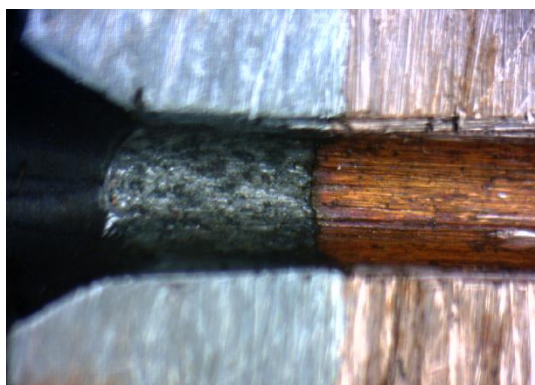
Špičky MIGfast následně podélně rozřízneme, abychom zjistili oblast úbytku materiálu.



Obrázek 3.14 Řez MIGfast – ocelové vodítko (sprcha)



Obrázek 3.15 Řez MIGfast – před keramickým izolátorem (sprcha)



Obrázek 3.16 Řez MIGfast – ocelové vodítko (pulz)



Obrázek 3.17 Řez MIGfast – před keramickým izolátorem (pulz)

Z obrázku 3.14 je vidět, že špička testovaná ve sprchovém přenosu kovu je vydřená v ocelovém vodítku a nepatrné vydření proběhlo i v měděné oblasti. Z obrázku 3.15 je patrné, že vydřený materiál se usazoval před keramickým izolátorem. Kuželovitá hrana viditelná před izolátorem je způsobena otřepem, který se nám nepodařilo odstranit.

Z obrázku 3.16 je vidět, že špička testovaná v pulzním přenosu kovu je vydřená pouze v ocelovém vodítku, přičemž je patrné, že měděný otvor je vůči otvoru ocelového vodítka osazený. Z toho plyne, že přenos elektrického proudu probíhá skutečně pouze přes ocelové vodítko, jak výrobce uvádí. Z obrázku 3.17 je jasně vidět usazování vydřeného materiálu z ocelového vodítka před keramickým izolátorem.

Výrobce uvádí, že vodítko je vyrobeno z tzv. „stříbřité oceli“ (angl. „silver steel“), což je vysoce-uhlíková lesklá ocel (obsah uhlíku: 1,1 až 1,2 % C). Tento materiál by měl být velmi odolný opotřebení. Výsledky ovšem ukazují, že opotřebení ocelového vodítka špičky MIGfast je velmi výrazné.

3.4 Chování špiček v průběhu svařování

1) MIGfast

Ve sprchovém přenosu kolísal elektrický proud, což způsobuje malá styčná plocha svařovacího drátu uvnitř kontaktní špičky. Byly zaznamenány výrazné vibrace drátu uvnitř bowdenu. Podavatelnost drátu byla mírně vyšší.

V pulzním přenosu taktéž kolísal elektrický proud. Svařovací drát se ve špičce neustále zadržoval, což bude nejspíše důsledek hromadění usazenin z ocelového vodička před keramickým izolátorem. Od třinácté minuty nastaly problémy s vedením oblouku, přičemž zkouška musela být několikrát přerušena a nebylo ji možné provést až do konce. Taktéž byly naměřeny výrazné vibrace drátu uvnitř bowdenu.

2) Binzel E-Cu / Binzel CuCrZr

U obou typů špiček nenastaly žádné výrazné problémy s vedením oblouku v průběhu zkoušek, a to jak ve sprchovém přenosu, tak i v pulzním. Vibrace i podavatelnost drátu se pohybovaly v příznivých hodnotách.

Vybrané svitky s grafickým zápisem vibrací a podavatelnosti jednotlivých špiček jsou naskenovány do příloh. Vibrace je zakreslena červenou barvou a podavatelnost modrou barvou. Jelikož se jedná o část firemního „know-how“, uvedené výstupní grafy nemohou být v této práci zveřejněny.

V tabulkách 3.10 a 3.11 jsou shrnuty průměrné hodnoty elektrického proudu pro sprchový, respektive pulzní přenos kovu, jenž byly zaznamenány do ovládacího panelu Aristo U8. Je patrné, že u špičky MIGfast dochází k výraznému poklesu proudů, vlivem posunuté kontaktní oblasti, oproti špičkám konvenčním.

Tabulka 3.10 Průměrné hodnoty el. proudu při sprchovém svařování [A]

čas [min]	MIGfast	E-Cu	CuCrZr
10	303,9	346,8	354,2
20	297,3	356,9	333
30	293,6	341	333,3
40	303,3	348,3	332,5
50	288,9	346,3	345,6
60	299,7	351,9	326,9

Tabulka 3.11 Průměrné hodnoty el. proudu při pulzním svařování [A]

čas [min]	MIGfast	E-Cu	CuCrZr
10	222,4	279,9	306,3
20	220,9	272,7	284,7

ZÁVĚR

V této bakalářské práci je stručně popsána problematika svařování MIG/MAG ve vztahu k vlivům na proces svařování. Mezi hlavní vlivy, jež ovlivňují svařovací proces, patří především ochranné plyny, přídavný materiál a svařovací parametry. Podle nastavovaných parametrů elektrického napětí a proudu rozlišujeme různé oblasti přenosu kovu v oblouku (sprchový, pulzní, aj.).

Práce je dále především zaměřena na analýzu kontaktní špičky, což je malá součástka, která plní funkci přenosu elektrického proudu na svařovací drát. Kontaktní špička je vystavena dvěma vlivům opotřebení (mechanický otěr, přechodový odpor mezi špičkou a drátem). Tyto vlivy závisí na použitém materiálu špiček, materiálu a jakosti drátu, kontaktním tlaku mezi špičkou a drátem. V konečném důsledku se opotřebení špičky projevuje zhoršeným přenosem elektrického proudu ze špičky na drát, větším rozstříkem kovu, nestabilním hořením oblouku, nekvalitním provařením materiálu, atd. Z tohoto důvodu výrobci používají různé druhy materiálů (nejčastěji měď a její slitiny) a vymýšlí různé provedení špiček, kterým by toto opotřebení a nutnou výměnu špičky oddálili. Firma Fronius vyrobila špičku Contec, u které je problematika opotřebení konstrukčně vyřešena neustálým tlakem dvou kuželových skořepin na drát. Výrobce udává až sedmkrát delší životnost oproti běžným špičkám. Tato špička je však prozatím použitelná pouze pro některé atypické druhy hořáků z jejich vlastní produkce. Kontaktní špička MIGfast od australského výrobce nachází řešení opotřebení v použití keramického izolátoru zalisovaného do měděného těla a tvrdého ocelového vodítka, přes které prochází elektrický proud na drát. U této špičky výrobce udává až pětkrát delší životnost oproti konvenčním špičkám.

Následně jsme provedli zkoušky opotřebení špičky MIGfast společně s dvěma běžnými špičkami od firmy Abicor Binzel z E-Cu a slitiny CuCrZr. Zkoušky jsme provedli ve svařovně firmy Esab ve Vamberku. Výsledky ovšem pro špičku MIGfast nedopadli dobře. Špička MIGfast dokonce vykazovala největší známky opotřebení v porovnání s běžnými špičkami. Vibrace a podavatelnost u této špičky taktéž vykazovaly velké výchyly, což je způsobeno hromaděním usazenin z ocelového vodítka před keramickým izolátorem a následným otěrem o procházející drát. Špičku MIGfast jsem sám prakticky odzkoušel při ručním svařování. Nicméně drát se ve špičce po jisté době začal zadržovat a přes hořák byly cítit mírné vibrace. Měl jsem pocit, že špička funguje na opačném principu, než jaký plyne z jejího názvu. Z těchto důvodů bych nedoporučoval špičku MIGfast používat v praxi, a to i s přihlédnutím na cenové hledisko, jelikož výrobní náklady jsou jistě mnohem vyšší než u běžných špiček. Ekonomické zhodnocení však po výsledném zjištění není třeba provádět.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
2. *Katalog přídatných materiálů pro svařování*. 2. zcela přeprac. vyd. Vamberk: ESAB Vamberk, 2002. 478 s.
3. BARTÁK, Jiří, Rudolf KOVAŘÍK, Václav PILOUS a kolektiv. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2002. 418 s. ISBN 80-85771-97-7.
4. ONDREJČEK, Peter. *Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou: Fyzika, Metalurgia, Technológia, Automatizácia*. 1. vyd. Bratislava: Eterna press, 2003. 205 s. ISBN 80-968359-5-5.
5. HADYNA, Daniel. Kontaktní průvlaky v MIG/MAG svařovacích hořácích. *Svět svaru*. 2006, roč. 5, č. 1, s. 9.
6. MOHYLA, Petr a Jan ZEMÁNEK. Svařování MIG/MAG ve zkratce. *Svět svaru*. 2006, roč. 5, č. 1, s. 16-17.
7. NASTOUPIL, Marek. Základní druhy proudových špiček a vliv vstupního materiálu na jejich chování. *Tribotechnika*. 2010, roč. 3, č. 4, s. 14-16.
8. ROHAN, Pavel a Zdeněk HUDEC. Aplikace ochranných atmosfér. *Svět svaru*. 2009, roč. 8, č. 2, s. 26-28.
9. *ESAB Czech Republic* [online]. c2011 [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: < <http://www.esab.cz/> >.
10. *ABICOR BINZEL* [online]. c2011 [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: < <http://www.binz-el-abicor.com/CZ/cze/> >.
11. *MIGfast Pty Ltd* [online]. c2011 [cit. 2011-04-12]. Dostupné z WWW: < <http://www.migfast.com/> >.
12. *Speedway* [online]. c2009 [cit. 2011-03-24]. Product Ranges. Dostupné z WWW: < <http://weldasia.com/product-ranges.php?page=5> >.
13. *Linde Gas* [online]. c2008 [cit. 2011-03-24]. Nové barevné značení tlakových lahví. Dostupné z WWW: < [http://www.linde-gas.cz/international/web/lg/cz/like35lgcz.nsf/repositorybyalias/pdf_cylinder1/\\$file/BarevneZnaceniTlakLahvi2007.pdf](http://www.linde-gas.cz/international/web/lg/cz/like35lgcz.nsf/repositorybyalias/pdf_cylinder1/$file/BarevneZnaceniTlakLahvi2007.pdf) >.

14. *Wikipedia* [online]. 2011-02-09 [cit. 2011-03-24]. Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou. Dostupné z WWW:
< http://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9r%C5%99e_tav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou >.
15. *Fronius International GmbH* [online]. c2011 [cit. 2011-04-12]. Contec - Novel contacting technology. Dostupné z WWW:
< http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-6442A7DA-56C9B10F/fronius_international/hs.xsl/79_19611_ENG_HTML.htm >.
16. *Technologie I.* [online]. Liberec : TU v Liberci, 2010 [cit. 2011-03-24]. Obloukové technologie v ochranných atmosférách, s. . Dostupné z WWW: < http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD11_prezetace.pdf >.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
Cu-DHP	-	Deoxidized Hight Phosphorus Copper – odkysličená měď s vyšším obsahem fosforu
E-Cu	-	elektrolytická měď
MIG	-	Metal Inert Gas – obloukové svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu
MAG	-	Metal Activ Gas – obloukové svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu
TIG	-	Tungsten Inert Gas – obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu
WIG	-	Wolfram Inert Gas – obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu
WPS	-	Welding Procedure Specification – specifikace postupu svařování
I	A	elektrický proud
P	W	výkon
Q_{pl}	l/min	průtok plynu
T	°C	teplota
U	V	elektrické napětí
d	mm	průměr drátu (elektrody)
f	Hz	frekvence
m	kg	hmotnost
m_u	mg	úbytek hmotnosti
O_{sp}	%	procentuální ovalita špičky
t	min	čas
v	m/min	rychlost posuvu drátu
$\cos \varphi$	-	účinník
η	%	účinnost

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Základní schéma svařování metodou MIG/MAG	13
Obrázek 1.2 Svařovací zdroj (vlevo - usměrňovač, vpravo - invertor)	14
Obrázek 1.3 Podavače drátu (vlevo - dvoukladkový, vpravo - čtyřkladkový) ..	15
Obrázek 1.4 Svařovací hořák s vodním chlazením.....	15
Obrázek 1.5 Barevné značení vybraných průmyslových plynů	17
Obrázek 1.6 Varianty balení svařovacího drátu	18
Obrázek 1.7 Oblasti přenosu kovu v oblouku	19
Obrázek 2.1 Kontaktní špička našroubovaná v hořáku.....	20
Obrázek 2.2 Proudové špičky z materiálu E-Cu, CuCrZr a kompozitní jádro, včetně poniklování	22
Obrázek 2.3 Svařovací špička Contec.....	23
Obrázek 2.4 Schéma špičky Contec	24
Obrázek 2.5 Svařovací špička MIGfast.....	25
Obrázek 2.6 Srovnání konvenční a MIGfast špičky	26
Obrázek 2.7 Rozříznutá špička MIGfast	26
Obrázek 2.8 Vlivy na nastavení vzdálenosti kontaktní špičky	28
Obrázek 2.9 Změna kontaktní oblasti běžné kontaktní špičky	29
Obrázek 3.1 AristoMig 450	32
Obrázek 3.2 Hořák MB 501 D.....	32
Obrázek 3.3 Hořák upevněný v držáku	33
Obrázek 3.4 Aristo U8.....	33
Obrázek 3.5 Úbytky hmotnosti při sprchovém svařování	35
Obrázek 3.6 Úbytky hmotnosti při sprchovém svařování po 60 min	35
Obrázek 3.7 Úbytky hmotnosti při pulzním svařování po 20 min	36
Obrázek 3.8 Ovalita MIGfast - sprcha.....	37
Obrázek 3.9 Ovalita MIGfast - pulz.....	37
Obrázek 3.10 Ovalita E-Cu - sprcha	37
Obrázek 3.11 Ovalita E-Cu - pulz	37
Obrázek 3.12 Ovalita CuCrZr - sprcha.....	37
Obrázek 3.13 Ovalita CuCrZr - pulz.....	37
Obrázek 3.14 Řez MIGfast – ocelové vodítko (sprcha)	38
Obrázek 3.15 Řez MIGfast – před keramickým izolátorem (sprcha).....	38
Obrázek 3.16 Řez MIGfast – ocelové vodítko (pulz).....	38
Obrázek 3.17 Řez MIGfast – před keramickým izolátorem (pulz).....	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1 Typy kontaktních špiček	31
Tabulka 3.2 Typické chemické složení drátu	31
Tabulka 3.3 Chemické složení ochranného plynu.....	31
Tabulka 3.4 Technické parametry AristoMig 450	32
Tabulka 3.5 Technická data MB 501 D	32
Tabulka 3.6 Svařovací parametry	34
Tabulka 3.7 Úbytky hmotnosti při sprchovém svařování [g]	34
Tabulka 3.8 Úbytky hmotnosti při pulzním svařování [g]	34
Tabulka 3.9 Procentuální stanovení ovality špiček	36
Tabulka 3.10 Průměrné hodnoty el. proudu při sprchovém svařování [A]	39
Tabulka 3.11 Průměrné hodnoty el. proudu při pulzním svařování [A].....	39